

ARGAND (E.) 42
Monseigneur le Prof. W. Kilian,

Hommage de l'Auteur

et souvenir

E.A.

FONDS WILFRID KILIAN

Plissements précurseurs et plissements tardifs des chaînes de montagnes

Discours d'ouverture de la 101^e session de
la Société Helvétique des Sciences naturelles

par

Emile Argand

F.A.

FACULTE DES SCIENCES DE GRENOBLE

LABORATOIRE
DE GÉOLOGIE ET DE MINÉRALOGIE

Plissements précurseurs et plissements tardifs des chaînes de montagnes.

Discours d'ouverture de la 101^e session de la Société Helvétique des Sciences
Naturelles, prononcé le 30 août 1920, à Neuchâtel, par

EMILE ARGAND.

Mesdames, Messieurs,

Le monde inorganique, a-t-on dit, manifeste une histoire, et dans ce flux qui change sans terme assignable, l'histoire de notre Terre se détache, pour nous, avec un relief particulier. Préjugé de Terrien, assurément; illusion que dissipe le spectacle de l'univers, mais illusion que l'esprit humain, pour de proches motifs et par une pente naturelle, incline à entretenir. La Terre n'est-elle pas, tout compte fait, le seul système inorganique un peu important que nous puissions toucher, et ne joint-elle pas, à cet avantage palpable, une variété, une beauté, une complexité qui la désignent d'autant plus à notre attention, que nous lui gardons un attachement plus forcé? Dans cette histoire générale de la Terre, ne voit-on pas se dessiner, à mesure du progrès des recherches, une *histoire des déformations de la planète*, histoire dont la narration exhaustive, si elle était possible, marquerait l'achèvement de la tectonique? Et qui donc, malgré l'impossibilité d'un tel récit, mettrait en doute l'avenir promis à cette science? En vain les océans couvrent-ils les trois quarts de l'objet; en vain le dernier quart, enveloppé d'une écorce dont nous voyons directement, en quelques pays privilégiés, les vingt ou trente premiers kilomètres, cèle-t-il des profondeurs qui semblent pour toujours au-dessous de nos prises: l'arrêt n'est pas sans appel, et s'il est vrai que les déformations de l'écorce se ramènent, en définitive, à des changements de volume dans les diverses enveloppes concentriques dont est faite la Terre, il y a beaucoup à espérer, pour la tectonique, et des progrès de la physique du globe, et de ceux de la chimie physique appliquée à l'histoire des magmas. En vain les couvertures tabulaires masquent-elles, sur de vastes étendues,



le bâti des vieilles chaînes arasées : il en perce toujours assez pour faire éviter, avec un peu de circonspection, de trop grosses méprises sur le style, l'âge et l'enchaînement des antiques déformations.

La tectonique, pour être éclaircie, veut être embrassée, et cela ne va pas sans une bonne vue : plus les objets sont nombreux, plus les mouvements sont variés, et plus il y faut d'une certaine transparence que l'esprit, reconnaissons-le sans détour, doit tirer de lui-même. La valeur de chaque détail se mesure à sa place dans l'ensemble, et ce dernier, loin d'être conçu comme une succession d'événements séparés, doit être *aperçu* comme une continuité de mouvement. L'objet de la tectonique, c'est toujours un corps à trois dimensions, un solide en train de se déformer dans toutes ses parties. En termes plus symétriques, et tenu compte du temps, nous trouverions une multiplicité à quatre dimensions. Tenons-nous en à la première expression, qui laisse paraître, dans son tour natif et dans sa force originale, la qualité des images visuelles qui se présentent au moment de l'invention et grâce auxquelles la tectonique, dépassant définitivement l'âge des tableaux statiques juxtaposés, a des chances de devenir ce qu'elle doit être : la figuration aussi pleine, aussi liée que possible, d'un ensemble de mouvements aperçu et joué.

Voici, courant sur les détails qu'il ordonne, explique, concilie, absorbe et dépasse, ce dynamisme spirituel et créateur, cet insaisissable qui saisit tout. Image de mouvements et mouvement d'images, il est plus qu'une synthèse de fragments ; il est un syncrétisme fécond, où chaque chose voudrait être présente au tout, et le tout à chaque chose ; il rend plus qu'il ne prend ; il n'est pas, il devient ; il ne pose pas à plein, il coule ; il est le jaillissement même de l'invention tectonique. En lui comme dans la nature, comme dans la réalité qu'il prétend cerner, il n'y a pas d'états, il n'y a que des transitions. Pas de stades, rien que du changement, ou lent, ou rapide ; en un mot, des phases. Le langage s'épuiserait à rendre tant d'aspects mobiles ; le dessin en train de naître y parvient en quelque mesure, pour peu qu'il soit alerte ; le dessin achevé y réussit encore, quand le spectateur sait y remettre le mouvement dont il fut l'expression.

Je vais désormais supposer connu, de l'objet dont il va être question, ce qui est parvenu à ma propre connaissance ; ou mieux, je le supposerai *vu*, et *vu en train de se déformer* au cours des

temps géologiques. Voici la marqueterie terrestre, avec ses abîmes océaniques, ses aires continentales courbées en dômes, découpées en môles et en fossés, ses chaînes plissées, diverses par l'âge autant que par le style ; voici au surplus, et autant que j'y vois, le multiple cortège des phases traversées par tous ces objets ; voici leur apparition sur l'immense échiquier où les coups vont se jouer ; leur interaction, leurs luttes pour l'espace et leur instabilité radicale. Dans cette mouvante plénitude, il y a comme une place d'attente pour les choses qu'on ne sait pas encore : elles m'apparaissent toujours comme des espaces, mais des espaces vides dont le pourtour est en train de se déformer, et que je vois se refermer, s'évanouir et le céder à une image dynamique positive, quand survient, pour la région qui m'intéresse, une période mieux éclairée, plus remplie d'événements.

Cette représentation, où l'espace et sa déformation ne font qu'un, je me la donne en ce moment ; je la soutiens, à mon gré, le temps de vous parler ; je la fais couler, s'il me plaît, avec les temps géologiques ou en sens inverse ; et dans les nombreuses séries d'événements qu'elle me fait voir, je choisis, sans les détacher tout-à-fait de l'ensemble, les aperçus changeants qui font l'objet de ce discours.

Voici les Alpes, et tant d'autres chaînes de type alpin ; elles ne sont pas nées au Tertiaire, comme on l'a longtemps cru ; un développement continu, lui-même commandé par des événements antérieurs, s'y manifeste dès le Trias, le Permien et même, pour certaines zones, bien avant le Carbonifère moyen, sans interruption entre le plissement hercynien et le plissement alpin. Période de plissements précurseurs où l'on voit s'ébaucher, dans la forme restituée des avant-fosses, des sillons marins et des cordillères dissymétriques en marche, le dessin des puissants organes dont le développement, sans changer essentiellement de qualité, va s'accélérer à divers moments du Jurassique, du Crétacé et surtout du Tertiaire, pour s'affirmer encore, dans le reste de cette période, dans le Quaternaire et au travers du présent, sous forme de *répliques* affaiblies, de plissements tardifs dans lesquels on reconnaît, sous des apparences attribuées, souvent à tort, à des mouvements épirogéniques, la continuation des mêmes phénomènes. En général, toute chaîne à développement continu nous offre, entre

des phases de rémission, un ou plusieurs *paroxysmes* sur lesquels on fait bien de mettre l'accent, mais qu'il ne faut pas poser trop à part de ce qui précède et de ce qui suit; ils ressortent, comme des touches particulièrement éclatantes, sur un fond continu qui n'en diffère que par sa moindre intensité, et dont ils ne sauraient être détachés. Et que les discordances ou les transgressions, par les lacunes qu'elles comportent, servent à dater certaines phases marquantes des mouvements, rien de mieux; encore faut-il voir que de telles lacunes ne prouvent jamais l'interruption des mouvements, mais seulement celle du dépôt.

Voici, dans la Méditerranée des temps jurassiques, les puissantes cordillères arquées qui donneront plus tard les nappes alpines et carpathiques. Au nord, l'avant-pays d'Europe, en grande partie submergé, offre à leur avancée un obstacle dont les singularités retentiront profondément sur la forme changeante des arcs, sur l'amplitude, sur la localisation, sur l'âge des nappes qui vont en sortir, et sur tout ce qui suivra. Qu'on embrasse d'un coup d'œil la forme de cet obstacle; c'est comme un vaste golfe allongé de l'ouest à l'est, du Dauphiné à la Moldavie, sur 1600 kilomètres; plus au sud, deux promontoires en rétrécissent l'entrée, réduite à un chenal de 1150 kilomètres. De ces deux promontoires, l'un, dont le redan le plus marqué est abîmé sous le golfe de Gênes, reconnaît pour fragments, un peu excentriques il est vrai, le massif de l'Esterel et celui du Mercantour, et peut-être pouvait-on lui rattacher encore, à ce moment, le massif corso-sarde. L'autre promontoire occupe tout le tréfonds des plaines et des plateaux du Bas-Danube: Grande-Valachie, dépression gétique, pays tabulaire bulgare; et ce socle paraît d'ailleurs au jour, à l'est, dans le massif de la Dobrogea. Au nord de chacun des deux promontoires, et protégées par eux contre l'invasion prématurée des nappes, s'étendaient deux *anses* en hémicycle; l'une, tout à l'ouest, loge aujourd'hui la boucle des Alpes occidentales; l'autre, plus vaste, à l'est, est actuellement remplie par la grande boucle des Carpathes roumaines.

Négligeons, pour l'instant, les petits mouvements précurseurs et les mouvements attardés: nous trouverons que la chaîne alpine-carpathique comprend des *nappes à deux paroxysmes*, l'un d'âge crétacé, l'autre d'âge tertiaire, et des *nappes à un paroxysme*, qui est le dernier des deux précédents. Aux nappes à deux paro-

xysmes appartiennent les zones internes des Alpes et des Carpathes, et notamment l'arc austro-alpin; aux nappes à un paroxysme, les zones externes du même ensemble.

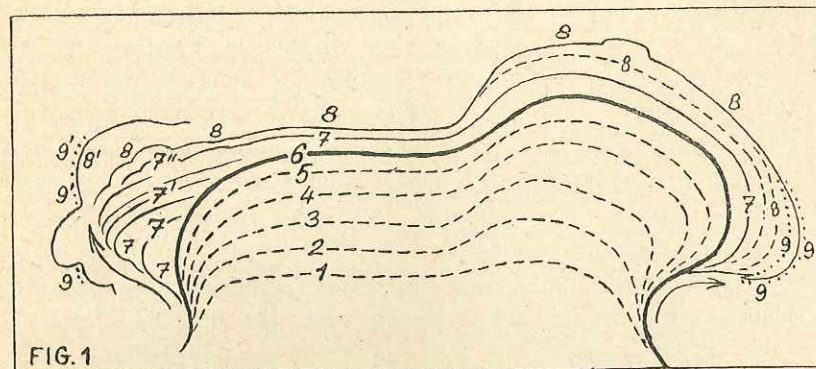


FIG. 1

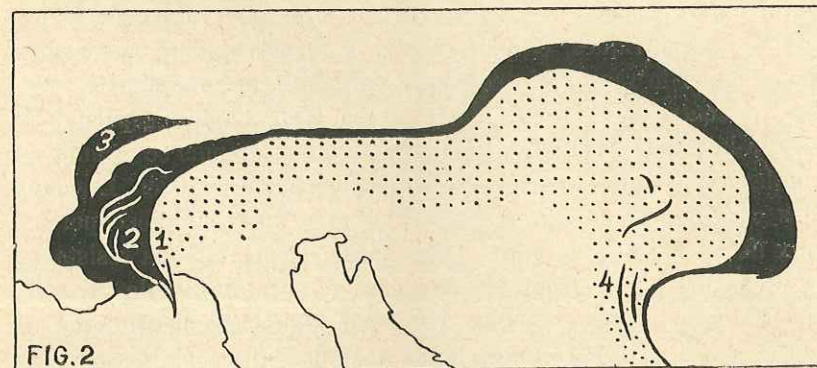


FIG. 2

Fig. 1. Progression des fronts alpine-carpathiques. Echelle approximative 1:17,000,000. 1 à 9, progression des fronts de nappes (ou des arcs générateurs) du Jurassique au Quaternaire. 1 à 6, progressions au Jurassique et à l'Eocène. 6, front des nappes au moment du premier paroxysme (fin de l'Eocène). 7 à 9, nappes à paroxysme tertiaire. 7, 7', 7'' progressions au Nummulitique; 8, au Néogène; 9, au Néogène supérieur et au Quaternaire. Les flèches indiquent le sens des dérivées. — 8', 9', progressions frontales du Jura; 8'', au Néogène moyen; 9'', au Néogène supérieur et au Quaternaire. — Il est aisé de restituer à cette figure le mouvement qui traverse l'ensemble.

Fig. 2. Chaîne alpine-carpathique: distribution actuelle des unités d'après l'âge de leurs mouvements principaux. — Pointillé: nappes à deux paroxysmes; 1, extrémité occidentale de l'arc austro-alpin; 4, virgation du Banat. — Noir plein: nappes à paroxysme tertiaire et régions à plissements tardifs; 2, virgation intérieure des Alpes occidentales; 3, Jura. Dans l'anse occidentale, les parties de nappes austro-alpines qui ont été retransportées plus ou moins passivement sur le dos des nappes tertiaires n'ont pas été séparées de ces dernières.

Remettons le tout en mouvement et commençons par les nappes à deux paroxysmes. Le Valanginien passe, puis le Hauteriviien et le Barrémien. Les arcs se pressent à l'entrée du chenal; leur partie centrale s'y engage comme dans un goulet, bientôt dépassé, et prend une convexité de plus en plus prononcée vers le nord;

quant aux deux extrémités, bridées, retenues à l'arrière par les deux promontoires, elles s'y appliquent étroitement. Sur le promontoire bas-danubien, elles déferlent avec puissance en donnant ces imposantes nappes cristallines allongées du Timok à la Ialomitza, par les Portes de Fer, et dont Mrazec et Murgoci, qui les ont révélées, ont établi l'âge anté-cénomaniens. Ainsi l'antiquité des grands charriages, dans cette région, s'explique aisément par la conformation de l'obstacle: le flot a déferlé, en premier lieu, sur les promontoires les plus avancés. Qu'un phénomène symétrique, comparable à celui-là, se soit produit avec plus ou moins d'intensité contre le promontoire occidental, c'est concevable; mais tant de choses sont cachées par la mer et par les nappes de charriage de l'Apennin septentrional, qu'on ne peut rien dire de plus.

Le segment médian des arcs, de plus en plus distendu vers le nord, l'est et l'ouest à mesure que le temps passe, envahit le grand golfe concédé par l'obstacle; il y dessine des fronts successifs, concentriques, de plus en plus externes et dont l'ensemble, aperçu dans le raccourci des temps, formerait une famille de courbes. Le centre de ce front, marchant au nord, balaie l'espace droit devant lui; vers la fin de l'Eocène, il déferle, puis se ralentit en vue des avant-pays bavarois, autrichien, bohémien, galicien. Les deux ailes curvilignes, de plus en plus dilatées, s'efforcent d'occuper les deux anses latérales du golfe. Dans l'anse occidentale, la résistance du promontoire et l'étroitesse de l'espace ont tôt fait de ralentir, puis d'arrêter ce mouvement; voilà pourquoi l'arc austro-alpin se courbe à son extrémité ouest, sans remplir l'anse, et laisse à découvert, non sans y déclancher des plissements très affaiblis, la plus grande partie de ce qui sera plus tard la boucle des Alpes occidentales.

Beaucoup plus vaste et plus ouverte, l'anse orientale s'offre plus librement à l'avancée des arcs; elle sera donc plus complètement remplie par les nappes dues au paroxysme crétacé. L'espace considérable qu'occupent, plus en dehors, les nappes du Flysch carpathique, à paroxysme essentiellement tertiaire, montre d'ailleurs que l'invasion de l'anse, au Crétacé, n'a pas été complète, et que la partie la plus lointaine, au tournant sud-est de la chaîne, a été épargnée à ce moment.

Que le faciès du Flysch, exclusivement nummulitique dans les Alpes occidentales, débute au Crétacé à la marge septentrionale

des nappes austro-alpines et dans la plus grande partie des Carpathes, voilà un fait longtemps inexpliqué, mais qui n'a plus lieu, après ce que nous venons de voir, de nous étonner. Le Flysch est un faciès de fermeture des géosynclinaux et des avant-fosses; le Flysch crétacé devra donc se distribuer, dans l'espace, comme le paroxysme crétacé et ses répliques; le Flysch nummulitique, comme le paroxysme nummulitique, et tout ce jeu immense se trouve rattaché, en définitive, aux phases de progression des cordillères, phases qui dépendent elles-mêmes de la conformation de l'obstacle.

Nous trouvons ainsi, au bout du compte, que *les nappes à paroxysme crétacé*, c'est-à-dire à deux paroxysmes, *se sont produites uniquement dans les régions où l'on peut, d'après la forme de l'avant-pays, prévoir une maturation particulièrement précoce des arcs générateurs.*

Que dirai-je du paroxysme tertiaire? Non content de ranimer, dans toute leur masse, les nappes à paroxysme crétacé, il se fait sentir à la fois sous elles, en elles et à leur marge externe, d'un bout à l'autre de la chaîne; le remplissage des deux anses s'achève à l'Oligocène, dans l'ouest, par la formation des nappes penniques, complétées du faisceau helvétique; dans l'est, au Néogène, par le comblement des parties les plus reculées de la boucle; le bord de l'avant-pays, dominé sur toute sa longueur, reçoit une marge faite de ces nappes nouvelles et de nappes anciennes retransportées, qui jouent ou rejouent dans le détail. Ce second transport s'est accompli passivement sur le dos des nappes nouvelles, comme le montre la mise en place des Préalpes supérieures, partie intégrante de l'arc austro-alpin; on peut croire que dans l'autre boucle, un phénomène analogue est intervenu pour les nappes supérieures de la Bukovine. Au reste les Préalpes, reprises par des mouvements attardés, ont été finalement déchargées tout à l'avant, sur les mollasses chattiennes et aquitaniennes. Il va de soi que tout ce qui s'est déposé, entre les deux paroxysmes, sur les nappes d'âge crétacé, échappe au premier paroxysme et pâtit du second: c'est le cas, en général, du Mésocrétacé, du Néocrétacé et du Nummulitique.

Plus imposant, plus formidable que le paroxysme crétacé, le paroxysme oligocène le déborde en extension et le dépasse en profondeur: lui seul a pu constituer des nappes dans l'anse occidentale où était venue échouer l'offensive crétacée; lui seul a pu former

en plis couchés, tout au long des Alpes occidentales, l'immense tréfonds pennique épais d'une trentaine de kilomètres. A ce double résultat, reconnaissez la supériorité de l'effort.

Les produits du paroxysme crétacé ont, à l'ordinaire, le caractère de nappes brisantes, avec prédominance des vastes surfaces de décollement, des contacts mécaniques brusques: il s'agit de phénomènes relativement superficiels. Les produits du paroxysme oligocène présentent dans les Alpes, partout où la profondeur est grande, et c'est le cas de beaucoup le plus fréquent si l'on a égard au *volume* total déformé, le caractère de plis couchés, à flanc renversé souvent laminé, mais présent: effet de la profondeur du site et du confinement de la matière.

Que nous apprennent, maintenant, les plissements tardifs du Néogène et du Quaternaire? En une série de répliques affaiblies, la masse entière des chaînes roule sur ses charnières ou avance sur ses surfaces listriques: sous cette poussée qui mord l'avant-pays, la marge la plus exposée de l'avant-fosse néogène prend des plis qui ne tardent pas, d'ailleurs, à être surmontés par les nappes elles-mêmes. Imaginons que pour ces nouveaux objets, la forme générale de progression des fronts continue et accentue ce que nous avons trouvé pour la marche des arcs au Crétacé et au Nummulitique. Il est clair, dès lors, que les témoignages les plus anciens de cette progression néogène seront particulièrement nets au centre du front, c'est-à-dire, si l'on veut, de la Suisse à la Galicie, et que ces plissements ne s'étendront pas, aux deux régions extrêmes des anses, sans y manifester une différence de phase, un retard appréciable.

Eh bien, que voyons-nous? Tout au fond de l'anse orientale, dans les Subcarpathes, dans l'éperon de Valeni, les couches levantines sont plissées, comme l'a établi Mrazec. Ce plissement quaternaire manifeste, dans cette région de la boucle qui est la plus lointaine, la moins accessible au flux, le retard dont nous venons de parler. Transportons-nous au fond de l'autre anse; nous y trouvons, près de Digne, des charriages post-pontiens dont il faut rapprocher, dans le Jura plissé après le Tortonien, des traces d'un plissement plaisancien et post-plaisancien dont nous parlerons l'instant d'après. En faut-il plus pour établir, au moins dans les grands traits, le bien fondé des hypothèses faites? Ne voit-on pas des faisceaux néogènes, tout en gagnant peu à peu du terrain vers

l'extérieur, s'allonger à partir du front central vers les deux ailes du dispositif? Et n'est-ce pas cette précedence des plis nés du segment central qui a maintenu, à l'Aquitainien et au Burdigalien inférieur, la séparation entre le bassin rhodanien et le bassin extra-alpin de Vienne? Et cela malgré la condition déprimée qui prévalait alors? En regardant de plus près à ce jeu des avant-fosses, on trouverait, en général, un ou plusieurs *foyers* initiaux à partir desquels s'est fait l'allongement des plis, dont les extrémités libres, au cas de foyers multiples, finissaient par se rencontrer et par s'enchaîner en faisceaux continus.

Revenons à l'intérieur des Alpes et des Carpathes. Les *virgations* qui s'y manifestent avec tant d'ampleur vont résulter, elles aussi, des conditions que l'avant-pays offre au déferlement. Une virgation se produit, en général, quand l'*abordage* de l'obstacle par des nappes ou par des plis se fait avec une incidence oblique. Toute virgation dessine une gerbe de plis qui, d'abord serrés, s'étalent et divergent au loin. Une virgation a encore ceci de précieux, qu'elle fait paraître, dans les courbes de ses branches, et tout d'un temps, dans le présent, quelque chose des formes successives jadis assumées par les fronts, par les trains de plis en marche. Elle est comme un rappel des progressions passées; mieux encore, elle en est le témoignage direct, conservé dans sa forme, à quelques détails près, grâce à la grande viscosité du milieu. Au même titre que les arcs dont elle fait partie intégrante, elle est toujours, pour l'embryogénie des objets tectoniques, du plus grand intérêt. La partie serrée de la gerbe est aussi la plus déviée par l'obstacle; la partie étalée est la moins contrariée; elle répond, en quelque manière, aux libres ondes du large. L'abordage est toujours plus ancien dans la partie serrée, plus récent en avant de la partie étalée; de la première à la seconde région, l'application du front à l'obstacle se fait de plus en plus tard, et l'on conçoit qu'une *dérive* longitudinale comparable, pour l'image, à un courant littoral, s'y produise dans le même sens et travaille à étirer les plis suivant leur longueur. Au total, on aura dans toute virgation un moyen subtil d'apprécier la qualité et la succession d'un certain nombre de phases du mouvement.

Voyez cette virgation du Banat, par quoi les faisceaux internes des Carpathes, dirigés au NNE, s'écartent si notablement du front que présente la chaîne en Olténie, et considérez cette virgation intérieure

des Alpes franco-italiennes qu'on est parvenu à déceler, il y a peu d'années, sous la complication des nappes penniques où elle se cache profondément. Comme elles se font vis-à-vis, dans l'une et dans l'autre anse du bord résistant! Comme l'une est l'image symétrique de l'autre! Douteriez-vous, après cela, d'une communauté d'origine? Toutes deux expriment, en effet, le mode de progression des nappes sitôt après le dépassement de l'un et de l'autre promontoire; et si la dérive, comme on l'a montré ailleurs, s'est produite du sud au nord au long de l'hémicycle occidental, il faut bien qu'une dérive analogue ait eu lieu de l'ouest à l'est, tout au long des Alpes de Transylvanie, où l'abordage doit devenir de plus en plus récent dans le même sens. Le fait que ces deux virgations ne sont pas de même âge, et se rattachent l'une au paroxysme crétacé, l'autre au paroxysme oligocène, ne détruit pas l'analogie mécanique: il la marque au contraire plus fortement.

La virgation des Alpes occidentales présente d'ailleurs, dans le temps et dans l'espace, beaucoup plus de durée et d'ampleur que je ne le voyais il y a quelques années. La branche la plus méridionale en même temps que la plus ancienne de la gerbe, n'est autre que le bord dévié de l'arc austro-alpin à son extrémité occidentale: elle date du Crétacé. Vient ensuite la virgation intérieure proprement dite avec les branches du Pelvo d'Elva, d'Ambin, de la Vanoise-Valsavaranche, toutes d'âge nummulitique, mais de plus en plus récentes dans l'ordre indiqué. La branche la plus septentrionale de la virgation, enfin, n'est autre que le Jura, plissé après le Tortonien avec rejeu au Pliocène et au Quaternaire. Toutes les gerbes ainsi dessinées se ferment au sud et s'ouvrent au nord, au nord-est, à l'est-nord-est; le plus largement ouvert des éléments synclinaux de cette virgation, c'est le pays mollassique suisse, et sans cette résistance de la Forêt-Noire qui a obligé le Jura oriental à se serrer, à se *compliquer* sur lui-même, le Jura tout entier se terminerait par une vaste gerbe étalant au loin dans les plaines ses nombreuses extrémités libres divergeant au nord-est et au nord. Ainsi les Alpes occidentales entières, par leurs éléments les plus reculés et les plus anciens comme par leurs ouvrages les plus avancés et les plus récents, manifestent l'extraordinaire persistance d'une certaine forme de mouvement qui se rattache elle-même, de la manière la plus étroite, aux conditions que l'avant-pays imposait à l'abordage du flux. Et dans les dérives à tendance sud-nord

d'intensité variable, que suppose un tel ensemble en virgation, ne voit-on pas s'affirmer dans des régions de plus en plus septentrionales, à mesure que passent le Crétacé, le Nummulitique, le Néogène et le Quaternaire, comme une survivance de plus en plus cachée de ce que fut, avant l'entrée des arcs dans le chenal, la poussée méridienne générale?

Parlerai-je du volcanisme alpin? On a proposé, il y a peu, de rattacher les produits volcaniques recélés par le grès de Taveyannaz au batholite du val Bregaglia. Avant d'en venir à ce détail que nous croyons inexact, élargissons le problème jusqu'à ses vraies dimensions: nous trouvons que le batholite post-alpin apparaît à Traversella, à Biella, en Bregaglia, à l'Adamello, à la Presanella, à l'Iffinger, au Riesenferner, au Bachergebirge; ce n'est rien autre, à tout prendre, que la cicatrice tonalitique de Michel-Lévy, ou encore les granites périadriatiques de Salomon; sa longueur reconnue passe donc 600 kilomètres, mais il se prolonge bien au-delà, et tout ce déluge de roches volcaniques, principalement andésitiques, dacitiques et rhyolitiques, qui s'est épanché au bord interne des Carpathes, jusqu'en Transylvanie et au Banat, ne fait sans doute que projeter en surface la continuation de notre batholite, admissible, désormais, sur plus de 1800 kilomètres. On doit encore rattacher à ce long cortège la cicatrice batholitique du Banat, plus jeune que divers niveaux du Crétacé supérieur. Le groupe volcanique des Monts Euganéens occupe, comme on sait depuis longtemps, une position analogue au revers de la cordillère alpino-dinarique, et tout porte à le croire branché sur le même réservoir: il nous permet de passer, sans autre étonnement, à la considération de volcans tertiaires greffés sur les Alpes elles-mêmes. Fouillons encore le problème, mais dans le temps cette fois: nous trouvons qu'au Vicentin, les éruptions commencent au Londinien et se poursuivent après l'Oligocène; en Transylvanie, elles vont du Nummulitique au Vindobonien. Passons maintenant au cas particulier du grès de Taveyannaz: comme il s'agit du Lattorrien, nous sommes bien dans l'intervalle de temps qui convient; mais où était le centre volcanique? C'était Traversella. La masse principale du grès de Taveyannaz se trouve, à n'en pas douter, dans la Suisse occidentale, la Haute-Savoie et le Dauphiné; Bregaglia est loin, Traversella est près; au surplus, Bregaglia ne s'entoure pas de ce vaste étoilement de filons andésitiques qui ceint Traversella

et Biella et qui, en s'irradiant à des dizaines de kilomètres autour de ce foyer, dans la zone insubrienne, dans le Canavese et dans la zone Sesia, jusqu'au cœur des Alpes Pennines, dessine le plan d'un volcan très profondément décapé, situé exactement en arrière, et au plus près de la zone où prédominent les produits effusifs du grès de Taveyannaz. En outre, Traversella est dioritique, ce qui s'accorde, bien mieux que le Bregaglia principalement granitique, avec les affinités andésitiques des tufs du Taveyannaz. Puis-je ajouter que toute cette minéralisation qui se traduit en tant de points de la zone pennique, par exemple dans les massifs du Mont-Rose et du Simplon, par des venues de quartz aurifère, et dont l'âge postérieur au principal plissement alpin a été établi, est une manifestation téléfilonienne qui se rattache sans doute, en profondeur, au batholite récent qui pointe de temps à autre dans le sud ?

Nous avons, sans inconvénient jusqu'ici, négligé une période pour laquelle, dans les Alpes, les témoignages sont ou paraissent très clairsemés. C'est l'Eonummulitique, période pendant laquelle se déclanche, dans les Alpes, une phase orogénique appréciable; et il y a bien, en effet, dans cette chaîne, comme un petit paroxysme qui s'intercale entre les deux grands. A lui se rattache évidemment cette émergence qui s'est maintenue, pendant tout l'Eonummulitique, dans la plus grande partie de la chaîne. Je dis la plus grande partie, encore que pour quelques-uns, il s'agirait de la totalité. Cette surrection de plis en marche, fréquemment poussée jusqu'à l'émergence, a affecté pour le moins toute la zone helvétique et les deux grands géanticiinaux penniques. Il faut bien qu'un reste de mer ait duré dans le sillon le plus profond du géosynclinal piémontais, sans quoi on ne saurait d'où faire venir la transgression mésonummulitique alpine.

Si, cessant de regarder les Alpes entières, on n'a égard qu'à l'arc pennique et helvétique des Alpes occidentales, on trouvera, d'ailleurs, que l'effort éonummulitique a été plus important que l'effort crétacé et qu'il n'a été dépassé, en intensité et en efficace, que par le paroxysme oligocène. Entre ces trois maxima de poussée orogénique se placent deux minima, dûs à la rémission de l'effort horizontal et manifestés par de légers fléchissements du bâti plissé: le premier minimum est souligné par la transgression maestrichtienne, le second par la transgression mésonummulitique, avec

minimum le plus déprimé au Priabonien. Nous voici de nouveau à l'avant-veille du grand paroxysme: il se produit à l'Oligocène moyen dans le sud de l'arc. Le jeu de la dérive porte à le croire légèrement plus récent, ou à le faire durer plus tard dans le nord des Alpes occidentales, et en effet, les Préalpes supérieures ne déferlent complètement qu'après le Chattien.

Mais voici bien autre chose. Quand un faisceau de plis ou de nappes, au cours de sa marche horizontale, vient à rencontrer un obstacle, il subit une rétention qui le force à se tuméfier, et il se forme un *bombement axial*. Qu'un autre segment de ce faisceau se meuve vers un avant-pays plus découvert, il trouve un écoulement plus facile et garde un niveau moins élevé: les axes des plis présentent un point bas, un *ensellement*. Cette *segmentation* active des faisceaux n'a rien à voir avec les dislocations radiales; elle est donnée en même temps que le plissement, dont elle est une manifestation normale; elle témoigne, comme les déversements et les recouvrements, d'un effort horizontal; elle fait paraître l'unité de l'acte qui forme les nappes et du même coup leurs inflexions d'axe; elle fournit une image vraiment dynamique où tout est lié; elle dispense de recourir au surrogat de mouvements épirogéniques qui seraient venus après coup, on ne sait trop pourquoi, surprendre les nappes déjà faites et les relever inégalement. On a montré ailleurs comment se manifeste, au cœur même des nappes alpines, ce jeu si naturel, et par quelle illusion d'origine analytique on avait été conduit à dissocier, en deux stades successifs, deux aspects synchroniques d'un même mouvement. Le moment est venu d'appliquer ce critère à des mouvements plus délicats, à ces phases attardées dans lesquelles on fait encore, trop souvent et trop exclusivement, intervenir des dislocations radiales: affaissements, soulèvements, jeux de failles, épirogénèse.

Voici, par exemple, le bord méridional des Alpes: il plonge au Plaisancien pour se relever à l'Astien et au Quaternaire. Si nous trouvons, entre les isobases de ce mouvement et celles que donnerait la résultante verticale de segmentation nettement aperçue, une certaine conformité, nous serons en droit d'affirmer qu'il y a aussi une composante horizontale, donc plissement. Des environs d'Ivrée à la coupure de la Sesia, les altitudes du Pliocène soulevé vont en augmentant: 280 mètres près de Baldissero Canavese; 520 mètres pour les lambeaux plaisanciens et astiens de la basse

Sesia. Mais dans les Alpes Pennines, au droit de tout cela, les axes des plis couchés montent dans le même sens; autrement dit, sur la coupe en long qui réunit les deux localités que je viens de nommer, la composante verticale de segmentation, après le dépôt des sables jaunes astiens, donc *au Quaternaire*, a accru d'au moins 240 mètres la dénivellation que les plans axiaux présentaient auparavant. Nous sommes ici dans la retombée occidentale de ce grand bombement qui culmine dans le Tessin et s'étend du Valais aux Grisons. La continuation du plissement alpin au Quaternaire s'est certainement traduite, pour le faite structural et notamment pour le point de plus grande culmination, par des chiffres très supérieurs à 240 mètres: la coupe en long que nous venons d'examiner passe, en effet, très en arrière du faite, dans la retombée sud de la cordillère, où la montée ne se manifestait qu'avec modération. D'après l'altitude des surfaces séniles qui existent en tant de points des Alpes Pennines et qu'on peut, sans trop d'incertitude, faire dater du Pliocène, on admettra, pour les régions rapprochées du Rhône, une ascension quaternaire de l'ordre de 2000 à 2400 mètres; pour la région du faite structural, 3000 mètres et plus; pour la culmination absolue, dans le Tessin, des valeurs encore plus grandes; et cette ascension qui décroît du faite aux deux bords de la cordillère, et des régions bombées aux régions ensellées, n'a rien, évidemment, d'épirogénique; elle se distribue comme le plissement lui-même; elle n'en est que la résultante verticale, d'où la nécessité d'admettre, pour le Quaternaire, un important effort horizontal déroulant ses effets dans toute la chaîne.

Quant aux lambeaux pliocènes qui s'étendent vers l'est, à partir du lac Majeur, ils ne peuvent entrer en ligne de compte dans de telles restitutions, car ils reposent sur des zones plus méridionales appartenant aux Dinarides, où les mouvements ont affecté un style différent, excluant, pour l'heure, la comparaison.

Passons au bord externe du Jura. Nous y trouvons le lac plaisancien de la Bresse, avec ses couches à Paludines dans lesquelles Delafond et Depéret ont reconnu cinq zones paléontologiques successives. Imaginons la masse entière des Alpes, Jura compris, soumise à un léger renouveau de plissement. Le front externe du Jura avancera quelque peu et les dépôts du lac bressan seront relevés au bord de la chaîne: c'est précisément ce qui a lieu en nombre de points. Considérons, en outre, que ce lac occupe une

véritable avant-fosse; que la moitié sud de ce sillon, serrée entre le Jura qui avance et le Massif Central qui résiste, va prendre un léger bombement axial, de nature orogénique; prévoyons, par surcroît, le sort de ces parties plus septentrionales de l'avant-fosse qui, ne trouvant devant elles que le détroit morvano-vosgien, vont rester déprimées, et nous aurons saisi, comme en mouvement, les raisons pour lesquelles le lac, dans sa partie sud, a moins duré qu'au nord.

Ainsi donc, un léger mouvement orogénique, sensible à mesure que dure le Plaisancien, se précise à la fin de cette période; les sables de Trévoux, d'âge astien, reposent sur les couches à Paludines ravinées. Que ces plissements, continués et accentués au Quaternaire, aient du même coup déclanché ce rajeunissement topographique du Jura que manifestent la reviviscence de l'anticlinal interne, la présence de nombreuses cluses antécédentes, et ces longues vallées à cycles emboîtés dont le Doubs est un des plus beaux exemples, c'est ce qu'on ne saurait plus mettre en doute, du moment que des plissements d'âge pliocène viennent établir, des plissements vindoboniens aux plissements quaternaires, la transition nécessaire.

Revenons à la zone des volcans tertiaires qui s'allonge au bord interne des Alpes et des Carpathes. Nous y trouvons, sous une forme profondément cachée, la marque d'inflexions axiales dues aux plissements attardés. Il y a, dans les Carpathes, deux maîtres bombements axiaux; celui de la Tatra et celui des nappes gétiques entre le Timok et la Dambovitza. Pris en gros, l'intervalle entre ces deux aires est un ensellement qui résulte, d'ailleurs, de la liberté relative avec laquelle les nappes s'avançaient dans le large chenal compris entre le massif de la Bohême et le promontoire du Bas-Danube. Eh bien, c'est dans ce segment déprimé des nappes que la zone volcanique présente, avec le plus de continuité, le moins de dissection. Elle s'éparpille davantage en arrière de la Tatra et plus encore dans la boucle banatique, où les témoins volcaniques sont, à l'ordinaire, fort espacés ou réduits à leur cicatrice batholitique. Simple effet, dans un cas, de la condition déprimée, dans l'autre, de l'ascension axiale manifestée, au Néogène et au Quaternaire, par les plissements attardés qui ont affecté ces segments.

Une relation analogue se rencontrerait entre les volcans des Euganéens et celui qui, selon toute probabilité, surmontait la région de Traversella. Le premier est notablement disséqué; le second

est réduit à l'étoilement filonien de son plan, avec un batholite central sectionné, semble-t-il, peu au-dessous de la cheminée. Comme les axes des nappes alpines présentent, d'une région à l'autre, une ascension considérable d'est en ouest, on comprend que par l'effet de cette ascension continuée, le volcan occidental soit plus profondément décapé que l'autre.

A dater du paroxysme tertiaire, la chaîne alpino-carpathique, appliquée contre le massif bohémien, prend cette incurvation rentrante qui délimite assez nettement un arc alpin et un arc carpathique, dont l'histoire manifestera, désormais, un certain degré d'indépendance. Pour l'arc alpin, le maximum de la poussée répond à la partie la plus convexe, en Suisse. Dans un arc de plissement, on doit s'attendre, en général, à voir les recrudescentes de la poussée tangentielle agir d'abord sur le segment central le plus convexe, et gagner avec le temps les extrémités, où elles manifesteront un retard. Les défaillances de l'effort ont toutes chances, au contraire, de débiter aux extrémités et de ne gagner que plus tard, si elles durent assez, la région centrale. Dans les deux cas, la résultante verticale, ascension ou descente, superpose ses effets à ceux de la résultante verticale de segmentation. Les deux facteurs sont-ils de même sens, ils s'ajoutent; au cas contraire ils se retranchent et l'un des deux prime l'autre, dont l'effet est masqué. On conçoit que ces petits mouvements verticaux, dont le siège éprouve des transferts graduels dans le sens horizontal, peuvent faire croire au déplacement de larges ondes épirogéniques. Essayons d'appliquer ces critères, évidemment plus subtils que l'hypothèse épirogénique, à la cordillère et à l'avant-fosse alpines. Les dépôts néogènes qui entourent nos chaînes ne sont-ils pas souvent, grâce aux nombreux changements de faciès qu'ils présentent dans le sens vertical et dans le sens horizontal, d'excellents enregistreurs des petites pulsations orogéniques? Dans les cordillères devenues, depuis l'empilement des nappes, des organes essentiellement transmetteurs et de grande section, l'effort se dilue et l'allongement des plis est lent; dans les avant-fosses, organes récepteurs et de faible section, l'effort se concentre et l'allongement est rapide: de là, dans la dernière partie de l'histoire de ces deux éléments, une certaine disparité dont on rencontre parfois les effets.

A dater de l'Aquitanién, décroissance lente de l'effort horizontal, descente graduelle de la cordillère et de l'avant-fosse, le

tout plus tôt et plus complètement exprimé aux extrémités qu'au centre: de là l'invasion marine qui se fait sentir dès le début du Néogène dans le bassin extra-alpin de Vienne et dans le bassin rhodanien. La décroissance s'accroît, et la plongée est assez marquée, au Burdigalien supérieur, pour permettre à ces deux bassins de se rejoindre en un trait continu, par la Suisse et la Bavière; la descente a gagné le segment central. A l'Helvétien inférieur, le Schlier bathyal se dépose à l'est, à partir de la Haute-Autriche, et il y en a des traces dans le bassin du Rhône; au centre de l'arc, en Suisse, nous avons un régime néritique et sableux; c'est que ce centre, plus richement doté d'énergie que les deux ailes, éprouve le moins et le plus tard les effets de la diminution de poussée orogénique. L'Helvétien répond donc, pour l'avant-fosse et dans la règle, à un minimum d'effort.

Au Tortonien, reprise de l'effort horizontal dans le segment central, en Suisse; le sens de l'évolution précédente est renversé et des dépôts d'eau douce remplacent le régime marin; cette reprise ne gagne que lentement les ailes et n'y sera guère sensible avant le Sarmatien. Dans le bassin extra-alpin et dès l'Helvétien supérieur, la superposition des couches de Grund au Schlier marque, il est vrai, un léger relèvement du fond de la mer, mais un facteur localisé, la présence du massif bohémien tout proche, a provoqué ici un faible serrage favorable à l'ascension. Dès cette époque la cordillère manifeste, au rebours de ce qui a lieu pour l'avant-fosse, une plongée qui se maintiendra ou s'accroîtra au Tortonien; ce régime caractérise le bassin intra-alpin de Vienne, assis sur la cordillère même. Ainsi, pour l'aile orientale de la chaîne, le minimum helvétique se prolonge et se creuse encore pendant le Tortonien; la reprise d'effort, qui débute en Suisse, au centre, dans cette même époque tortonienne, n'a pas encore eu le temps de s'étendre jusqu'à l'extrémité. La nouvelle phase de serrage et d'ascension commence donc à des époques diverses, Helvétien, Tortonien, Sarmatien, suivant les conditions mécaniques données dans chaque segment. Cette phase atteint, au Pontien, à un maximum absolu dans toute la chaîne, et sans doute aussi dans toutes les chaînes issues de la Méditerranée, mer qui est réduite, à ce moment, à sa plus faible extension. Il est naturel de faire coïncider, avec ce maximum orogénique de la fin du Vindobonien, la principale phase d'avancée des nappes bordières sur les plis de

l'avant-pays néogène. Au Plaisancien, rémission très générale du plissement et plongée, suivie d'un relèvement qui débute à l'Astien et se poursuit dans le Quaternaire.

Nous avons donc en général, pour l'intensité des plissements attardés, un premier minimum touché ici à l'Helvétien et ailleurs au Tortonien; un maximum au Pontien, un minimum au Plaisancien et un ou plusieurs maxima au Quaternaire. Ajoutez à cela un faible maximum datant de l'Helvétien supérieur et localisé dans certaines parties de l'avant-fosse; il divise le premier minimum en deux minima secondaires, l'un à l'Helvétien inférieur, l'autre au Tortonien. Résultats morphologiques: une évolution en plusieurs cycles de la topographie néogène, préglaciaire, des Alpes, évolution analogue à celle que présentent les Carpathes, mais beaucoup plus voilée par le modelé glaciaire; ensuite, rajeunissement fluvatile quaternaire, puis amorçage de la première glaciation par l'augmentation d'altitude; et quant aux origines, rien que des plissements ordinaires.

Voici l'Apennin, et voici l'Atlas; dans cette longue cordillère arquée, bornons-nous à signaler des traces de virgation et d'allongement des plis. Ce long alignement mésozoïque, qui court et s'étire de Spoleto à Terni et Tivoli, n'est qu'une épave de nappes enrobée dans du Flysch; il s'allonge suivant le méridien alors que le front de la chaîne se dirige au sud-est: nous avons une virgation fermée au nord, ouverte au sud. Au bord extrême des nappes, une dérive a dû se faire sentir du nord-ouest au sud-est, mais comme ce vrai front de la chaîne est enfoui sous la plaine côtière néogène du versant adriatique, il ne sera peut-être pas aisé de constater le phénomène. Passant au Sahara algérien, voici qu'un train de plis autochtones s'avance du nord-ouest, obliquement au bord de la plateforme; les relais en échelon qu'il présente sont comme l'amorce d'une virgation symétrique de la précédente. La masse de ces chaînes frontales a dérivé vers l'est au long de la plateforme, et tout le dispositif résulte très naturellement de l'abordage oblique. Que ces deux virgations laissent paraître quelque chose de l'antique progression des arcs et des plis, du trainage des extrémités déviées contre l'obstacle caché sous l'Adriatique, et contre celui que recouvrent les tables sahariennes, on en conviendra, comme on restituera aussi, en pensée, la convexité que ces branches ont présentée exactement en arrière de celle que dessine, en Sicile et en Calabre, le front le plus avancé de la chaîne.

Qu'il y ait eu, au surplus, tendance à l'allongement des extrémités libres de la chaîne, on en aura quelque idée par le fait que les nappes sont antérieures au Burdigalien en Sicile, tandis que les plissements attardés ont affecté le Pliocène, près de Turin, à l'extrémité libre de la chaîne.

Voici les Dinarides: considérables en Grèce, en Albanie, en Dalmatie, elles diminuent peu à peu d'importance en Vénétie, en Lombardie, au Tessin; cette atrophie graduelle annonce l'extinction de ce faisceau, dont les extrémités libres, cachées sous la plaine du Piémont, ne doivent pas être très à l'ouest des derniers lambeaux de la basse Sesia. On les a souvent, sous la plaine, prolongées dans l'Apennin, mais je n'en crois rien. L'Apennin montrant au jour son extrémité libre, on ne voit pas comment une autre chaîne s'y raccorderait; et cette extrémité, du reste, au lieu de pointer au nord-est, vers les derniers lambeaux dinariques, ne se recourbe-t-elle pas à l'ouest, au sud-ouest et finalement au sud, dans le dernier épéron de Moncalieri?

Voici la chaîne double méditerranéenne: les Pyrénées, les Alpes, les Carpathes et le Balkan en sont l'aile nord, marchant vers l'Europe; l'Atlas, l'Apennin, les Dinarides sont l'aile sud, marchant vers l'Afrique. Par le sens de la poussée qui les anime, les deux ailes s'opposent; par le tréfonds commun où elles plongent, elles ne font qu'un. Cette notion de chaîne double, vieille de quelques dizaines d'années et que certains, dans ces derniers temps, ont peut-être cru inventer, n'a pas cessé d'être commode, et voici ce que j'y vois. Quand, sur la même transversale, sur le même *diamètre de poussée*, l'une des ailes est puissamment développée, l'autre l'est peu; que l'une vienne à consommer plus d'énergie, ce sera aux dépens de l'autre; que le cube de matière mis en jeu vienne à grandir ici, il diminue là; il s'établit donc entre les deux ailes, pour chaque diamètre ou mieux pour chaque segment, une compensation. Premier segment: les terres égéennes et balkaniques, jusqu'à un diamètre tiré de la dépression gétique au rebroussement de Scutari. Voici l'aile nord: c'est le Balkan bulgare, en grande partie autochtone et de faible volume; l'aile sud, Dinarides helléniques, domine complètement; charriages présumés en Lycie et en Carie, charriages de Rhodes, de Crète, du Péloponnèse et du Pinde, à séries épaisses, géosynclinales, à grand volume. Deuxième segment, du diamètre précédent à un autre que vous tireriez de

Vienne à Trieste à peu près; aile nord: les Carpathes avec charriages de cube modéré; aile sud: les Alpes Dinariques proprement dites avec les charriages du Velebit, de la Hrusica, les déversements de l'Istrie; en somme, équilibre approché entre les deux ailes. Troisième segment: du diamètre précédent à cet autre qui, d'Ivrée à Sion, traverse les Alpes Pennines et se prolonge, marqué par l'avancée maximum des Préalpes et par celle du Jura, dans la direction de Besançon. Aile nord, les Alpes, dont l'importance va sans cesse en augmentant de l'est à l'ouest; aile sud, les Dinarides de Vénétie, de Lombardie et du Piémont, qui s'affaiblissent dans le même sens jusqu'à l'évanouissement complet. Quatrième segment: du diamètre précédent au golfe de Gênes; les nappes alpines se réduisent progressivement vers le sud; dans les Alpes Maritimes, elles n'atteignent pas à la moitié du volume qu'elles présentent dans les Alpes Pennines; mais à l'aile sud, l'Apennin paraît et ne cesse d'augmenter en importance à mesure que les Alpes paraissent s'atrophier.

Arrêtons-nous un instant au diamètre Ivree, Alpes Pennines, Sion, Besançon. La chaîne alpine, aile nord de la chaîne double, atteint là son expression la plus puissante et par compensation, *l'aile sud cesse d'exister* sous forme d'Apennin ou de Dinarides.

Je pourrais, au surplus, décrire chacune des deux ailes de la chaîne double comme un système de *plis en retour* de l'autre aile; par exemple les Dinarides et l'Apennin comme plis en retour de la chaîne alpino-carpathique. On gagnerait, à cela, une certaine unification dans l'énoncé des sens de poussée et on y trouverait, d'ailleurs, plus qu'un simple tour discursif: ne vois-je pas, dans le court intervalle où les Dinarides et l'Apennin oublient de se rejoindre, *le bord interne des Alpes elles-mêmes se compliquer de plis en retour* d'une puissance qu'on ne retrouve en aucune autre partie de cette chaîne? Je ne parle point, ici, de l'éventail briançonnais; je désigne, comme vous voyez, cet éventail des racines alpines qui est si manifeste au bord interne des Alpes Pennines, dans la zone Sesia-Lanzo par exemple. Nous voyons ici les Alpes, par une substitution singulière, se charger de produire, comme en un rappel dont la signification n'échappera pas, tout ce qui peut être réalisé de l'aile sud dans le segment où la dominance de l'aile nord se fait le plus complètement sentir. C'est ainsi que

les Alpes, dans ce tronçon si remarquable, assument à elles seules le rôle de la double chaîne méditerranéenne.

En parlant d'un évanouissement des Dinarides vers l'ouest, je ne saurais en dire autant de la zone insubrienne, car cet objet, avec ses prolongements, fait pour moi partie des Alpes; affaire de définition. Comme les Dinarides, telles que je les vois, ne sont que la couverture sédimentaire un peu bousculée, mais en somme normale et adhérente, de cet objet alpin, on conçoit que je me passe de limites tectoniques entre les Alpes et les Dinarides. Les Dinarides ne seront donc pas, dans notre acception, quelque chose qui recouvre toute la largeur des Alpes; c'est, si l'on veut, cette partie arriérée des Alpes qui, tout en marchant vers le nord, a pris des plis et des charriages vers le sud, grâce à un déplacement graduel, vers le bas, du point d'application de l'effort maximum. Ce déplacement résultait, d'ailleurs, des progrès de l'affaissement adriatique, progrès qui entraînaient peu à peu, vers la profondeur, les organes transmetteurs de l'effort. Le vrai problème alpino-dinarique est moins de disjoindre que de restituer l'ensemble qui préexistait à toute disjonction; et un déroulement bien conçu des objets tectoniques ne laissera subsister aucune solution de continuité entre les Alpes et les Dinarides, pas plus, en général, qu'entre deux ailes opposées de la chaîne double.

M'occuperai-je des chaînes anciennes? Elles sont trop, au regard du temps qui vole rapide; mais voici, tout de même, la chaîne calédonienne d'Europe.

L'Ecosse nous montre, tout au nord-ouest, ses charriages classiques, de type rigide et brisant; elle nous montre aussi, à l'arrière, toute cette grosse masse ancienne des Highlands, principalement cristallophyllienne, où Bailey a reconnu, il y a peu d'années, de grands plis couchés. Pour le style, la première zone est comparable, en plus superficiel, aux coins cristallins du massif de l'Aar et du Mont-Blanc; la seconde zone, avec ses séries concordantes, ses charnières bien formées, sa grande épaisseur, son caractère de plis profonds, issus d'un géosynclinal, est l'analogue du grand intérieur pennique. On ne sait pas encore, il est vrai, si les plis couchés de Bailey marchent, comme il est probable, de l'est à l'ouest ou s'ils cheminent en sens inverse; on ne sait pas davantage dans quel sens il faut lire la série stratigraphique qui se contourne en eux. Ces deux problèmes sont connexes, et on les

résoudrait d'un coup si l'on pouvait dire où se trouvent, dans ce foisonnement de plis repliés, les anticlinaux et les synclinaux couchés originels. Qu'on s'adresse aux Alpes, on y trouvera peut-être la clef du problème. Il est de règle, dans les vastes plis couchés penniques, que les charnières frontales, anticlinales, soient bien dessinées; mais les charnières synclinales *d'origine*, celles qui unissent chaque grand anticlinal couché à ses congénères, sont sans exception réduites, par laminage et écrasement, à des queues appointies. Qu'on transporte ce critère aux plis couchés de l'intérieur des Highlands et l'on saura ce qui est anticlinal, et ce qui est synclinal, et dans quel sens lire la série.

Voici les Alpes scandinaves, et voici leur grande moitié occidentale, moins élucidée que l'autre. Que sont ces nombreux lambeaux de gabbro, ou de granite, de Ryfylke, des régions au nord du Hardangerfjord, des Jotunfjelde, du Dovre, des Okstinder, du Svartis, de Lyngen, et au-delà peut-être vers le nord-est? De l'avis de tous ils reposent fréquemment, en compagnie de schistes cristallins, sur du Cambro-Silurien, et il n'est presque pas, dans ces derniers terrains, de synclinal qui n'en renferme au moins un. Ils n'appartiennent pas, assurément, à la grande nappe complexe, de style brisant, que Törnebohm a jadis découverte, et dont le bord frontal se dessine plus à l'est. Les plus hardis y trouvent le témoignage de renversements localisés; pour d'autres, plus écoutés de nos jours, ce sont des laccolites épanchés dans le Silurien, et ils en veulent pour preuve la soudure parfaite qui existe souvent entre les roches éruptives et leur soubassement cristallophyllien ou silurien, avec défaut, en certains points, de contacts brusques; pour preuve encore, le fait que les schistes du substratum auraient éprouvé, à partir du haut, un métamorphisme de contact dû aux roches éruptives sus-jacentes. Mais qu'est-ce que tout cela? La répétition, à une échelle immense, de ce qu'on voit en Valais, dans le flanc renversé du pli couché de la Dent-Blanche. L'argumentation que nous venons de rappeler porterait, évidemment, contre l'idée de nappes brisantes, à vastes décollements et brusques superpositions mécaniques, comme est la nappe de Törnebohm; elle ne porte pas contre l'hypothèse, qui est la nôtre, d'un système de plis couchés, à flanc renversé aussi laminé qu'on voudra, mais en grande partie conservé et d'un mouvement assez souple pour avoir souvent respecté, malgré d'énormes étale-

ments et une vigoureuse déformation, les attaches originelles des objets. Que des portions de batholites, entraînées dans un tel système de plis couchés, en viennent à se ployer, à se retourner fond sur fond, la tête en bas, et à poser sur les schistes injectés et métamorphisés qui jadis leur servaient de calotte, c'est ce qui nous semble être la règle dans ces lambeaux; on conçoit d'ailleurs que cette injection et ces actions de contact se soient produites, en réalité, de bas en haut, avant les derniers plissements, car à l'ordinaire, la série est renversée.

Tout ce cortège de phénomènes, ai-je dit, répète le massif de la Dent-Blanche, où nous l'avons décrit, il y a une douzaine d'années, non sans y joindre l'appui de levés détaillés. Même absence de limites tranchées; même renversement de batholites granitiques aujourd'hui posés sur leurs auréoles de contact, après engagement dans des plis couchés. Les schistes cristallins qui entrent, avec les granites et les gabbros, dans la composition des lambeaux norvégiens, sont beaucoup plus métamorphiques que ne le sont, en moyenne, les schistes siluriens du substratum. Même phénomène dans les Alpes Pennines où les schistes de type profond, à minéraux de la catazone, se trouvent portés, par le jeu des plis couchés, à des milliers de mètres au-dessus des schistes de l'épizone, ainsi qu'il paraît au Mont-Cervin, à la Dent d'Hérens, en Valpelline.

On saisit, d'après les nombreuses similitudes qui viennent d'être relevées, l'analogie des deux problèmes; on mesure l'étendue des conséquences qui en résultent pour la structure générale de la chaîne scandinave, et que nous venons de tirer; on conçoit, enfin, la nécessité de revoir, à l'échelle régionale et à l'échelle locale, le problème des Alpes Norvégiennes en tenant compte de ce qui est établi pour les Alpes Pennines. Un grand système de plis couchés, sorti d'un géosynclinal, a marché vers l'est jusqu'à recouvrir cette nappe plus externe, plus basse et de caractère plus superficiel pourtant, avec ses grands décollements, qu'a trouvée jadis Törnebohm. Du paquet cambro-silurien qui reste engagé entre les deux systèmes de nappes, on peut tout aussi bien dire qu'il les sépare ou qu'il les unit; dans sa partie basse, ce paquet est la couverture ordinairement normale des nappes de Törnebohm; dans sa partie haute, repliée sur la précédente, il appartient au système supérieur et y adhère encore. C'est un vaste et complexe

synclinal couché, divisé en planchers superposés par des lames anticlinales, et l'analogie, comme on voit, de la zone du Combin en Valais.

Qu'on trouve encore, dans le système supérieur, des sorties axiales obliques de plis couchés superposés, analogues à celle qui couvre tout le Valais central et oriental, c'est ce que révèlent suffisamment, à mes yeux, certains levés récents, et notamment la belle carte que Rekstad a donnée, en 1912, de la région côtière que domine le Svartis, entre 66° 20' et 67° de latitude nord. En y regardant de près, on trouvera là, au sud du Melfjord, une structure à empilements complexes et répétés, dont le trait le plus accusé est la présence de deux grands plis couchés principaux, à cœur anticlinal de granite et enveloppes cambrosiluriennes; la forme des traces indique un paquet de plis couchés poussés au sud-est, et dont les axes s'enfoncent au nord-est. Au plus profond de ces deux plis appartiennent les Strandtinder, à noyau granitique renversé sur la série jeune de l'Aldersund et plongeant normalement à l'est, ainsi qu'au nord-est, sous une série analogue. Au plus élevé de ces deux plis couchés, on rattachera le cœur granitique des Kjerringviktinder, du Gjervalhatten et du Sneffeld. Ce dernier pli couché offre une trace curviligne presque complète, qui fait penser à celle de la nappe du Mont-Rose: trace du flanc renversé au bord sud-ouest du massif; trace de la charnière frontale autour du Sneffeld; trace du flanc normal au bord nord-est de la masse, vers le Langvatn, le Storvatn et le Melfjord. Le granite du Svartis appartient à un troisième grand pli couché encore plus élevé. Les traces de flancs normaux ne sont, d'ailleurs, pas rares dans toutes ces nappes supérieures de Norvège, et tout incline à y reconnaître la succession verticale primitive des batholites encore recouverts de leur calotte. Nous regardons le cas de la région indiquée, et tant d'autres cas analogues que réalisent les Alpes scandinaves intérieures, comme une répétition du problème classique des *traces* de plis couchés, tel qu'il se présente dans les Alpes Pennines.

Il n'est pas jusqu'aux *plissements en retour* des zones intraalpines qui ne se reproduisent parfois en Norvège, au côté interne de la chaîne, c'est-à-dire à l'approche de cet Océan Atlantique sous lequel les racines des nappes sont abîmées; et l'on trouvera, par analogie avec les Alpes occidentales, que ces plis en apparence

rétrogrades résultent d'une continuation tardive de l'effort originel *vers l'est*, avec déplacement graduel vers le bas, au cours des temps, du point d'application des forces.

La chaîne scandinave, ainsi complétée, n'est pas sans ressembler aux Alpes; elle devient, d'ailleurs, l'exact pendant symétrique de la chaîne écossaise: dans les deux cas, les nappes brisantes, de type superficiel, sont en dehors et les plis couchés, de type profond, en dedans. Les deux poussées, en Ecosse et en Scandinavie, sont dirigées en sens opposé, vers les deux marges d'un géosynclinal: on trouve ici les témoignages d'une double chaîne calédonienne analogue, à l'âge près, à la double chaîne méditerranéenne.

Que dire des pays tabulaires, si ce n'est qu'en un sens, *il n'y en a pas*? Voyez l'Irlande, au nord des faisceaux hercyniens qui longent son bord méridional. C'est une couverture de Dévonien et de Carbonifère déposée sur un fond calédonien très plissé, et faiblement plissée elle-même, aux temps hercyniens, par le contrecoup des plissements plus intenses et de même âge qui sont si manifestes, comme on sait, dans les latitudes plus basses de l'Europe. Même explication pour les plis modérés, plus encadrés de môles dominants, qui affectent les bassins houillers des Lowlands écossais. Voyez, au surplus, ces vastes espaces qui s'étendent du bord alpinocarpathique à la Fennoscandie! Le contrecoup des plissements alpins s'y manifeste partout, et dans ce plissement, il n'est de questions que pour le degré. Plis du bassin de Paris, du Boulonnais, du Weald, de Wight, de la bordure du Harz et du Teutoburger Wald; plis extrêmement faibles que dessinent, en vue même du bouclier baltique, les auréoles contournées des divers niveaux du Crétacé et du Tertiaire danois. A peu près partout d'excellents travaux ont éclairci la longue histoire de ces plis. On y retrouve en pulsations affaiblies, croyons-nous, l'écho de chacun des paroxysmes méditerranéens, voire même de mouvements andins. Et que sont, dans la vaste Russie, les fameuses lignes de Karpinsky, sinon des plis compliqués de fractures, comme ils le sont tous? Et les larges *uplifts* paléozoïques du centre des Etats-Unis, avec les vasques auxquelles ils passent horizontalement? Des plis. On peut d'ailleurs, en général, conserver l'expression si commode de *pays tabulaires*, à la condition de n'y voir qu'un de ces concepts-limites que la nature ne se charge pas de réaliser dans leur perfection,

et qui restent bons pour la notation approchée de certains aspects; à la condition, en outre, d'entendre qu'il s'agit de plis différents par le degré, par l'intensité, l'étendue ou la forme, mais non par la qualité, de ceux qui composent les *chaînes réglées*.

J'ai parlé, tout à l'heure, de *plissements andins* manifestés jusqu'en Europe. Où se trouvent, au Jurassique supérieur, les principaux foyers de plissements intenses, à caractère paroxysmal? Assurément, dans les Cordillères qui longent le bord occidental des deux Amériques, et pour être plus explicite, dans les faisceaux occidentaux de ces Cordillères. La Sierra Nevada en est, peut-être, l'exemple le plus complètement étudié; d'autres témoignages en sont offerts par les Klamath Mountains, les environs de San Francisco, la Colombie Britannique. Qu'un si grand paroxysme se soit fait sentir, parfois avec un léger retard, bien en dehors de ces chaînes, sous forme de contrecoups plus ou moins affaiblis, et prenne par là une importance grandissante, c'est ce dont on ne saurait douter, et on ne voit pas de meilleure explication aux plissements cimmériens de Suess, si manifestes en Crimée, non plus qu'aux rejeux de cordillères et aux creusements de sillons marins, souvent si profonds, qui se produisent à ce moment dans les embryons des chaînes alpines et méditerranéennes. Ajoutons-y toutes les traces de plissements reconnues, pour cette époque, en tant de points de l'Europe au nord des Alpes: centre de l'Allemagne, Boulonnais, Weald et autres localités du bassin anglo-parisien, ainsi que la production de ce large *uplift* qui se traduit, de l'Angleterre au Jura, par la régression du Purbeck. Qu'un tel contrecoup des plissements andins ait été possible, c'est une raison de plus d'admettre une indivision très fortement constituée, une solidarité mécanique assurée à l'intérieur du bloc continental qui englobait alors les parties anciennes de l'Eurasie et de l'Amérique du Nord.

Je m'arrête: la tectonique ainsi contée m'entraînerait loin, et il ne sied point, pour l'heure, que toute la Terre y passe. On a vu, dans la peinture des ensembles en mouvement plus encore que dans l'esquisse des structures, ce que la tectonique veut être demain. On a vu aussi, je pense, comment la connaissance des Alpes, qui ont révélé tant de secrets et qui en gardent encore quelques-uns, peut éclairer et rajeunir celle de bien d'autres chaînes. Saluons les

Alpes, gage de fécondité pour notre science; les Alpes, parure auguste de la Terre; les Alpes qui nous semblent plus belles, depuis que nous avons le sentiment de leur mobilité et le pressentiment de leur impermanence. Admirons l'illusion que répand, sur leur majesté transitoire, sur leurs flancs amoindris par l'érosion, sur leur destin entrevu, la généreuse splendeur de ce clair matin. Que d'aurores ont lui, en des matins sans nombre, sur les Alpes en travail, depuis le temps où de souples cordillères, premières ébauches de la chaîne, parurent pour la première fois au-dessus des mers bleues!